

一般論文

「ヒートシールの数量化管理の研究」

[第3報]：溶着面温度測定法による従来の管理指標の検証

菱沼一夫*

Study of Quantative Control for Heat Sealing Technology
[3rd Report] The verification of the conventional management index by The Measuring
Method for Temperature of Melting Surface.

Kazuo HISHINUMA*

プラスチックの包装資材のほとんどの封緘にはヒートシールが使われる。従来のヒートシール管理は「温度」、「時間」、「圧力」が指標として取上げられている。しかしこの3要素の定義は曖昧であるので、制御要素としての信頼性は保証しにくいものであった。

溶着面温度測定法：“MTMS”を用いてヒートシールの管理項目の温度要素を溶着面等の温度応答を直接測定して、従来の管理法の“不具合”点を解明する。

本報では次の事項の検証を行った。(1) 4重のヒートシールの各部位の温度応答、(2) 圧着圧と溶着面温度の関係、(3) 揮発成分を含んだ溶着面温度の挙動、(4) テフロンシートの装着の効用、(5) 発熱体の表面の温度分布の計測、(6) インパルスシールの溶着面温度挙動、(7) インダクションシールの溶着面温度挙動、(8) 片面加熱の加熱面温度の挙動

キーワード：溶着面温度測定法、ヒートシール、角度法、インダクションシール、インパルスシール、片面加熱

The heat sealing is used for most sealing of plastic packaging material. “Temperature”, “time” and “pressure” are being taken up the conventional heat sealing management as indexes.

However, the reliability of these three elements as a control element was difficult to be guaranteed, because the definition was unclear.

“Failure” point of conventional management method is clarified by the direct measurement of temperature response of welding surface, etc. using “MTMS” in respect of temperature element of the management item of heat sealing.

In this paper, next matters were verified.

- (1) The temperature response of each part place of quadruple heat sealing.
- (2) The relationship between welding front temperature and pressure joining pressure.
- (3) The behavior of welding front temperature with the volatile component.
- (4) The effect of the mounting of the Teflon sheet.
- (5) The measurement of the temperature distribution of the surface of heating element.
- (6) Welding front temperature behavior of the impulse heat sealing.
- (7) Welding front temperature behavior of the induction seal.
- (8) The behavior of the hot face temperature of one side heating.

“MTMS”：The Measuring Method for Temperature of Melting Surface

Keywords： “MTMS”, Heat Seal, Melting Surface Temperature, Angle Method, Impuls Seal, Induction Seal, Single Side Heating

*菱沼技術士事務所 (〒212-0054 川崎市幸区小倉 1232)：

HISHINUMA CONSULTING ENGINEER OFFICE 1232 Ogura Saiwai-Ward Kawasaki 212-0054, Japan

1. 緒言

1.1 本研究の概要

プラスチックの包装資材のほとんどの封緘にはヒートシールが使われる。

従来のヒートシール管理は「温度」、「時間」、「圧力」が指標として取上げられている。しかしこの3要素の定義は曖昧であるので、制御要素としての信頼性は保証しにくいものであった。

本研究の第1報で提示した溶着面温度測定法（以下の記述は“MTMS”と称す）を用いて従来から行われているヒートシールの管理項目の温度要素を溶着面等の温度応答を直接測定して、従来の管理法の“不具合”点を解明する。本報では次の事項の検証を行う。

- (1) 4重のヒートシールの各部位の温度応答
- (2) ヒートシールの圧着圧と溶着面温度の関係
- (3) 揮発成分を含んだヒートシールの溶着面温度の挙動
- (4) 発熱体にテフロンシートを装着した場合の被加熱体との接触面の温度挙動
- (5) 発熱体の表面の温度分布の計測
- (6) インパルスシールの溶着面温度挙動
- (7) インダクションシールの溶着面温度挙動
- (8) 片面加熱の加熱面温度の挙動

2. 理論

ヒートシールは加熱プロセスである。制御の3要素として「温度」、「時間」、「圧力」が提起されているが主制御要素は「温度」であって「時間」は加熱操作のエネルギー供給のファクターである。「圧力」は溶着面に揮

発成分のような感圧反応系が存在する場合を除き、系の熱伝導と接着面の“接触”を完成する二次的要素であって直接関係する要素ではない。ヒートシールは次の要素を確実に達成することによって完成し、かつ信頼性が確保できる。

- (1) 包装材料の溶着層の溶融温度(1)を把握する
- (2) 溶着層を溶融温度以上(2)に加熱する
- (3) 過加熱温度範囲(4)を掌握する
(ヒートシーラント、表層材料の2種)
- (4) 適正加熱温度に到達する時間(3)の制御を行う

4要素の関係を図1に示した。

加熱体との接触部位の表層温度の応答は T_3 のみを示した。

従来は、溶着面温度の直接測定技法が完成されていなかったため、加熱体の温度調節値や加熱時間を調節した加熱試料群の溶着面の引き裂きテスト^{1) 2)}や観察に依っていた。

従来法では、溶着条件以上の加熱が行われていることの定性的な確認はできる。

しかし、従来法では加熱が適正範囲か過加熱

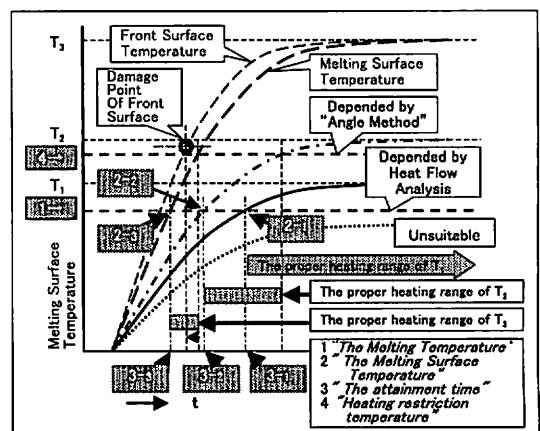


Fig. 1 The procedure of the Big Principle for Completion of Heat Sealing

の領域かの識別は困難であり、適正条件を調節することは困難であった。

このために、従来の管理手法では過加熱によって材料の熱変性を起こし、ピンホールやエッジ切れ等の包装の基本機能を失う不具合の発生源になっている³⁾。

適正加熱温度の選択はヒートシール強さ、Peel Seal 又は Tear Seal 領域の選択と表層包装材料の熱劣化を考慮して選択するのが好ましい。

表層材の熱劣化を考慮すると T_2 、 T_3 の加熱では、適正加熱範囲は狭まる。

ヒートシール強さに及ぼす熱劣化は「角度法」³⁾ によって容易に識別できる。

2.1 4重のヒートシールの各部位の温度応答

スタンドパウチ、袋、縦ピロー等の包装袋では図2に示したように単純な2枚重ねのヒートシールではなく4重のヒートシール部位と2重のヒートシール部位が混在する。

両面同一温度加熱の場合でも4重の1-2、2-3層、2重の1-1層の溶着面温度の応答は異なる。片面加熱の場合には応答の相違は更に大きくなる。

適正加熱条件の検証には各部位の温度応答の測定検証が不可欠である。

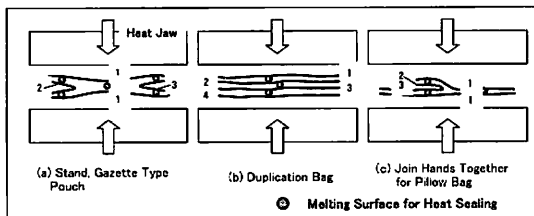


Fig. 2 Features of the heat sealing plane of the structure of the container by the difference

2.2 ヒートシールの圧着圧と溶着面温度の関係

多くの文献、資料にヒートシール強さと圧着圧の関係が記されているが根拠が明確ではない。ヒートジョー方式の加熱に付いて考察してみると、伝熱は被加熱材との接触によって行われる。ヒートシールの完成は数ミクロンの伝熱ギャップによって影響を受けるので⁴⁾、接触状態によってヒートシールの完成に変化が生じる。しかし強すぎる圧着圧は本研究の(第1報)4.1.3.で論じたようにヒートシーラント層が溶出するので避けなければならない。

包装材料のミクロな“しわ”を除去して溶着面を確実に接触させる適正加圧条件の検証が期待される。図3にその様子を示した。

2.3 揮発成分を含んだヒートシールの溶着面温度の挙動

ヒートシールの溶着面には被包装品の液等が付着することがある。又、使用した包装材料が持っている未重合物質や包装材料が吸収した水分等の揮発性物質が溶着面やラミネーション層に存在すると揮発反応が起こるので溶着面温度は揮発成分が系外排出されるまで蒸気圧温度に拘束される。系外排出が拘束される場合はヒートシール面が“泡状”になる。

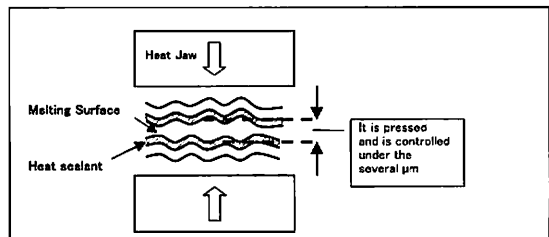


Fig. 3 The removal of the minute wrinkle by pressure joining

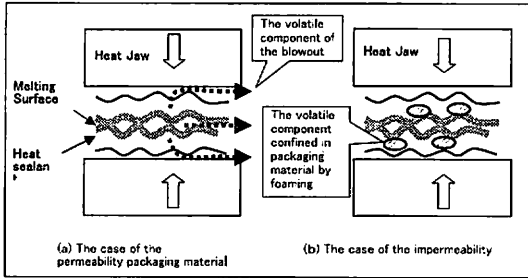


Fig. 4 The behavior of volatile component in the heat sealing

揮発成分挙動の推定を図4に示した。

2.4 発熱体にテフロンシートを装着した場合のヒートシール操作への影響

発熱体の表面にテフロンシートのカバーを装着することが習慣的に多用されている。

導入目的の発言を列挙してみると以下のようなものがある。

- 充填物の付着の容易な掃除性
- 包装材料の焦げ付きの軽減
- ヒートシール面の布目仕上げの“美粧性”
- クッション性
- 表面温度の均一化
- オーバーヒートの抑制

これらの期待機能の多くは工程上の不具合の対症療法的目的で適用されていて、論理性が乏しいと言える。対症療法の原因に付いての議論は別の機会に行うものとして、装着がどんな機能を有しているかの検証をする。

2.4.1 発熱体にテフロンシートを装着した場合の被加熱体との接触面の温度挙動

発熱体表面にテフロンシートを装着した場合の熱流のシミュレーション回路を図5に示した。シミュレーション図から理解できることは、テフロンシートは熱流抵抗（抑制）となる。特性を診るために厚手のテフロン

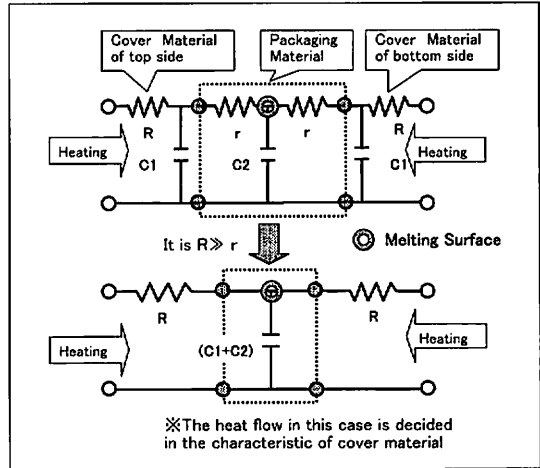


Fig. 5 Simulation circuit of the heat flow control by the cover material

シート使ったり、枚数を増やして熱抵抗を大きくして、ステップ加熱による溶着面温度の応答をみるとテフロン熱抵抗と包装材料の熱容量で決定されることになる。

（第2報）の図5に示したように熱流制御の効果は熱勾配が小さくなるから包装材料の表面と溶着面の温度差を小さくさせる機能がある。

2.4.2 発熱体にテフロンシートを装着する効用の検証

テフロンシートの装着は熱流の減少化の機能を有している。被加熱体の熱伝導機能より低めな熱供給をすることで被加熱材の表面（加熱体との接触面）と溶着面の温度傾斜を小さくすることができるので表層の熱ダメージを軽減できる。しかしこの機能をヒートシール条件が解析された系（現場）に適用するのは単に生産性を低下させるだけで得策ではない。

加熱体温度を加熱上限温度以下に設定して、テフロンシートをせずに加熱体を直接接触加熱する方法の加熱速度を検証して、オーバー

ヒートの危険を本質的に回避する方策を模索する。

2.5 発熱体の表面の温度分布の計測

ヒートシール面の均一完成の最大の不安定要素は加熱面の温度ムラである。

被加熱材からみると加熱ムラの原因要素は次のものがある。

①加熱体面の温度ムラ：発熱体の長手方向の製作上の発熱ムラや直角方向の加熱体の構造によって発生する。

②加熱体の圧着動作の圧着ムラ：加熱体の表面仕上げムラ、ジョー動作の平行性／ガタ、加熱による熱変形で発生する。

③加熱体の中央部と周辺の温度傾斜：長手方向と直角方向の温度傾斜、加熱体の形状によって発生する。

④放熱ムラ：加熱体周辺からの熱放射、加熱体の保持構造物への伝熱、周辺空気流のムラで発生する。

加熱ムラの発生は上記の要素が複合して起こるので、解析には個別要素を取上げての検証が必要である。

2.6 インパルスシールの溶着面温度挙動

インパルスシールの作動構造を図6に示した。インパルスシール方式はインパルス状の電流を抵抗線に流してジュール熱を発生させる。加熱量は通電時間（パルス巾）で調整するのが通常式である。抵抗線は細いので熱容量が小さく加熱後の冷却が短時間で完了する特徴を持っている。単一フィルムのヒートシールでは溶着面の適正加熱を行うと表層部分は完全な熔融状態になってしまい加熱後の加熱体の離脱が難しい。インパルスシ

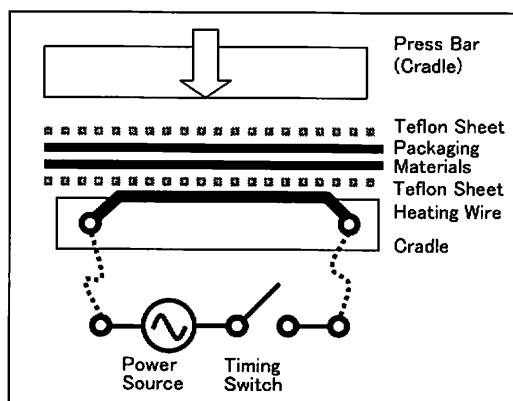


Fig. 6 The schematic diagram of impulse heat sealing

ルでは発熱部が短時間で冷却できるのでこの課題に対応しやすいヒートシール方式として利用されている。

しかし熱容量の小さい加熱体での加熱になるのでヒータ線の発熱温度は高温になる。包装材料の表面は高温に曝されるので、表層面の過加熱に留意が必要となる。

原理上ヒータ線の巾を広くして均一の発熱を起こさせるのが難しいので巾の広いヒートシールには適さない。インパルスシール装置では加熱性能の画一化が難しいのでヒートジョー方式のように加熱体の表面温度でのシミュレーションがし難い。装置ごとの溶着面温度応答の性能検証が必要である。

2.7 インダクションシールの溶着面温度挙動

インダクションシールは20数年前にガラス容器のインナーシールで実用化段階に入っていた。しかし条件設定の難しさと操作の信頼性の保証方法が確立されていなかったので一部の製品に残ったのみで汎用的シール方法から遠ざかっていた。

アメリカの September 11 以降、FDA は包

装品の封緘に対するセキュリティ性の高度化を医薬品包装主体から食品包装にまで拡大している⁵⁾。具体的にはパーマネントシールのセキュリティの保証である。ヒートジョー方式等の発熱体を直接接触させるヒートシール方式はヒートシール自体の信頼性は高いが Tamper Evidence が低い点が指摘されている。インダクションシール方式の概要を図7に示した。キャップ内に金属箔と一体にしたインナーシール材を挿入する。ボトル容器のキャッピング後に無接触で交番磁界を与えて金属箔にジュール熱を発生させ、この発熱をヒートシールの操作熱エネルギーとして利用する。キャップの Tamper Evidence 能力との相乗効果でセキュリティ性は格段の向上が図れる。

アメリカの包装界では封緘のセキュリティ向上の要求に対応してインダクションシール方式のリバイバルが起こっている。

インダクションシールは電気現象の基本特性から磁力線照射の導電体内に円線状にジュール熱が発生するので面加熱や矩形形状のヒートシールは困難である。

インダクションシールの完成の要素は

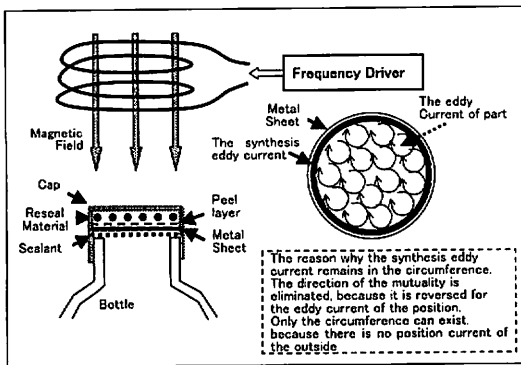


Fig. 7 The schematic diagram of induction heat sealing

①被加熱体の受ける磁束密度：・励磁源のパワー、・磁束の収束、・励磁コイルから被加熱体迄の距離

②励磁時間：・励磁ゾーンの通過時間、・励磁装置の作動時間

③金属箔発熱能力：・金属箔の電気抵抗、・厚み

④ヒートシーラントの熱容量：・ヒートシーラントの厚さ、・物性

⑤被接着側の熱容量：・ガラス、・プラスチック

インダクションシールの不具合の発生は上記の要素が複合して起こるので解析には個別の検証が必要である。

本報では“MTMS”の微細部位の温度測定機能を適用して励磁条件の適正検証を行う。

2.8 片面加熱の溶着面温度の挙動

ヒートシールの方式によっては、方式の原理から両面の加熱が困難な方法が少なくない。〔(第2報)の表1参照〕

片面加熱の場合は被加熱体の熱容量と伝熱特性によって決定される加熱側から非加熱側への熱流量によって、被加熱側の受け台の表面温度が変化する。非加熱側の受け台の表面温度の上昇は加熱側からの熱流量すなわち圧着時間、インターバル、被加熱の包装材料厚さ等が変動要素となり操作の標準化が難しい。条件毎の加熱応答の測定が必要とされている。

3. 実験

理論の項目で提起した代表的なヒートシールの関連項目を《“MTMS”キット》〔(第1報)図3、写真1参照〕を用いて計測した。

4. 結果

4.1 4重のヒートシールの各部位の温度応答

同一の包装材料を4枚重ねた1-2、2-3層の溶着面温度と加熱体の表面にコートしたテフロンシート／包装材料の表層の接触点とテフロンシート／加熱体の温度の4点を両面同一温度で加熱した場合の計測結果を図8に示した。このケースは2重袋やガゼット袋、スタンドパウチのガゼット折部分のヒートシール操作に相当する状態のシミュレーションである。測定点③と④が溶着面になる。②は通常言われている加熱体の表面温度に相当する。①は加熱体の表面温度である。“MTMS”では加熱体の『表面温度』を基準にした各部の温度のシミュレーションを行いヒートシー

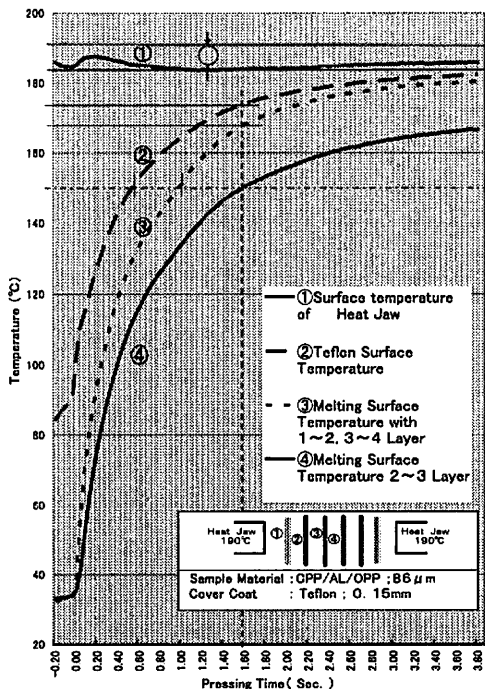


Fig. 8 The example of four-point simultaneous measurement by "MTMS"

ルの最適条件の設定を行っている。溶着面温度の③／④の温度差は材料の熱伝達特性、加熱温度と圧着時間によって決定される。実験例では加熱体の表面温度を 190°C の場合であるが、この実験結果から測定点の④が設定した所定の温度 (150°C) に到達する時間を先ず知ることができる。当然この時の測定点③は④より高くなる。測定点③のこの到達温度 (169°C) が試料の熱変性に不具合領域かどうかの評価ができる。

もし 190°C の表面温度の加熱で測定点③が許容されるものである場合には、同じ時間の測定点②の到達温度を検証する。測定点②の温度は試料の表面温度でもある。測定点②の温度 (175°C) が試料の表層材の熱変性に不具合領域かどうかの評価ができる。

加熱体の表面温度 5～10°C の間隔で変化させたグラフ群を作製して測定点の②、③、④の制限温度条件をもとに、加熱温度と圧着時間のマトリックスが作製できて定量化された最適なヒートシール条件を得ることができる。測定点②は、圧着以前は大気に曝されているので加熱体の表面温度とは異なっていて 85°C を示している。加熱体の表面温度を、表面温度計を使って測定することがあるが大気に曝されている状態では正確な表面温度の測定が困難であることを示唆している。加熱体 (金属体) の表面温度はわずかな変化はあるが圧着作動中も安定している。

4.2 ヒートシールの圧着圧と溶着面温度の関係

試料に架かる圧着圧 [MPa] (ヒートジョーの作動空気圧ではない) を試料の両面の接触が始まる微小圧着圧の 0.05 MPa から 0.3

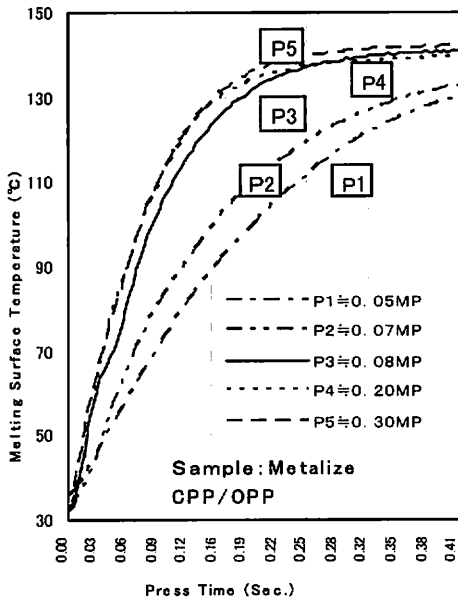


Fig. 9 Difference and melting surface temperature response of pressure

MPa まで変化させて溶着面の温度応答を計測した結果を図9に示した。この結果、圧着圧が低い領域では溶着面温度の応答が明らかに遅れて熱伝導が不完全であることが分かる。圧着圧が0.08 MPaになると応答は非常に速くなる。更に圧着圧を増加させても応答の変化は見られなくなった。この結果から圧着圧が0.08 MPa 付近以上で熱伝達状態がほぼ一定になることが分かる。0.3 MPa の応答結果を注意深く観察すると溶融温度以上の温度領域（0.16 秒付近）で応答が早くなっている。溶着状態に変化が起こっていることが分かる。高い圧着圧で溶融層の流動が起こっていることが推察され、高い圧着圧操作に留意が必要であることを示唆している。

4.3 揮発成分を含んだヒートシールの溶着面温度の挙動

揮発成分のヒートシールにおよぼす影響を

調べるために含水した紙を使って、圧着圧と溶着面温度の応答を調べた。試料としてコピー用紙を湿したタオルで包み含水させた。（各テスト片は同一の含水量にしてあるが定量化していない）

圧着圧は架けた応力を試験片の受圧面積で除して求めた。測定結果を図10に示した。

含水した試料の溶着面温度応答は含水していない資料の応答と比して遅れる。溶着面温度の挙動は圧着圧によって拘束される温度が異なることがはっきり分かる。拘束温度と蒸気圧の関係⁶⁾を当てはめてみると、蒸気圧と圧着圧が略一致していることから拘束温度と圧着圧の関係が有意になっている。この試

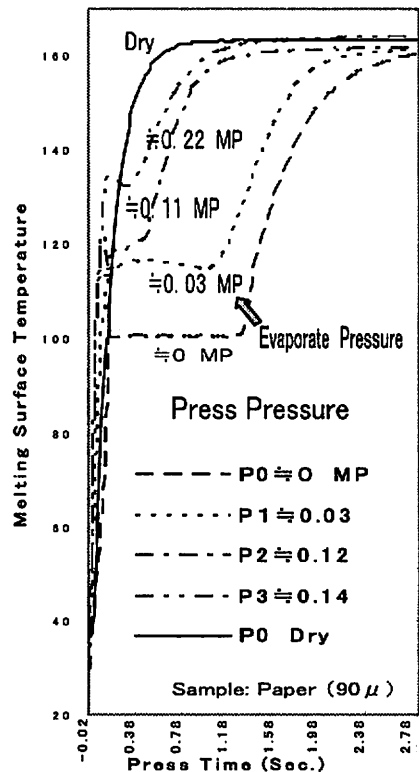


Fig. 10 The response with the volatile component in melting surface

験の場合は試料が繊維状なので内部の水分は加熱によって系外に突沸したことが温度上昇から理解できる。

プラスチック包装材料の場合でも揮発成分が溶着面に存在する場合は同等の現象になるがラミネーションフィルムの内側層に揮発成分が存在する場合は包装材料の伸びやデ・ラミネーション強さに左右されて気化したガス体は発泡体として層間内に残る。内部に揮発成分を含んだ試料の“発泡”例を図11(写真)に示した。この例はラミネーション層にナイロンを持ったレトルトパウチ包装材料である。145℃では Peel Seal 状態であり、外観は透明である。剝離状態は表層剝離である。

150℃加熱は外観からも発泡状態が確認でき、剝離は Tear Seal 状態であり発泡によって溶着面に気泡の仕切りができています。

揮発成分を含んだ系では [揮発温度]、[加熱温度]、[溶着温度] の三者の関係に注目する必要がある⁷⁾。

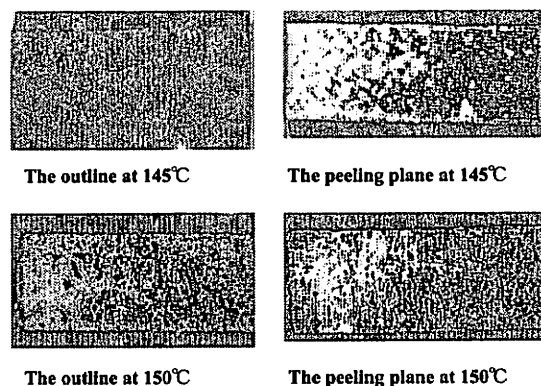


Fig. 11 The aspect which foams in lamination layer in the heat sealing plane

4.4 発熱体にテフロンシートを装着した場合のヒートシール操作への影響

4.4.1 発熱体にテフロンシートを装着した場合の被加熱体との接触面の温度挙動

テフロンシートをカバーした場合のテフロン表面と被加熱試料の接触面の繰り返し操作の温度変化の測定結果を図12に示した。測定点の温度は被加熱材の接触によって急激に低下する。低下速度と上昇は一義的には被加熱材の初期温度と熱容量、二義的にはテフロンシートの熱抵抗で決定される。

下降/上昇した時の接触面温度がシミュレーションデータの加熱体表面温度に到達すれば適正加熱を達成したことになる。(シミュレーションデータを採用する時に“MTMS”キットに実際と同じテフロンシートを装着して行えばこの配慮は不要になる)

この系では表面温度が定常状態に復帰する時間よりも短い時間の間欠動作が行われればテフロン表面温度は低温側にオフセットして行って加熱が不足する事態になり、ヒートシール運転は失敗することを示唆している。

4.4.2 発熱体にテフロンシートを装着する効用の検証

溶着面目標温度：140℃、過熱制限温度：

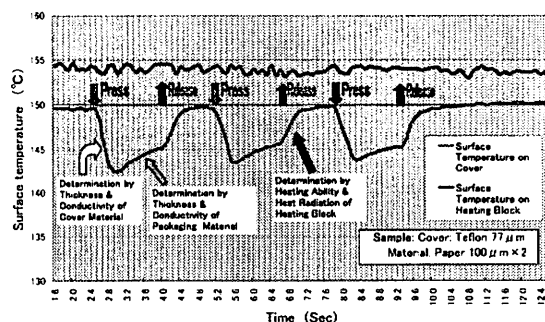


Fig. 12 The dynamics with heating surface temperature

160°C の条件における最速加熱条件のシミュレーションを

- (1) テフロンシートの熱流制御機能
- (2) 加熱体の直接接触の加熱温度制限方式による比較検証を行った。

シミュレーション結果を図13に示した。

図13(a)は加熱体の表面温度を150°Cに設定してテフロンなしと $t=0.14\text{ mm}$ シートで挟んだ条件で、略同一の応答を示した185°C加熱の応答を併記したものである。この事例の場合、150°C加熱で目標の140°Cの加熱には ≈ 0.5 秒を要した。この時の表層温度143°Cである。テフロンなしの場合の加熱条件では加熱時間の上限の制約はなく、長時間加熱になっても過加熱の危険は本質的にない。

一方 $t=0.14\text{ mm}$ のテフロン装着の加熱では同等の加熱時間を得るためには185°Cの加熱が必要であることが分かる。更に表層の加熱制限条件の160°Cとのマージンも小さく、温度傾斜の途中での正確な加熱停止を要求していることが分かる。

図13(b)には図13(a)に示した同一の方法で $t=0.1\text{ mm}$ のテフロンコートを加えた実

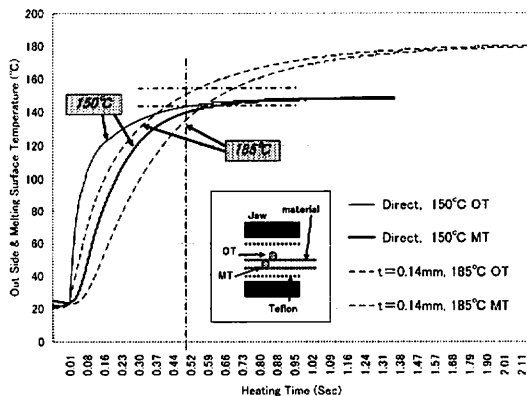


Fig. 13(a) The difference case of the response of melting surface temperature of the mounting of the Teflon coat by the existence

験結果を加熱温度ベースで溶着面温度が140°Cに到達する時間とその時の表層温度データをまとめて示した。この結果からテフロンコートの効果は、①加熱時間が遅延する。②応答を速めるためには加熱温度を高くする必要がある。③加熱が高温側に移動するので、表層の熱ダメージのリスクが増加する。等が分かった。

ヒートシールの安定化の技術的視点から診るとテフロンを装着する有用性は見出せなかった。

4.5 発熱体の表面の温度分布の計測

“MTMS”の微細点の温度測定機能を適用して、ヒートジョー方式の加熱体の表面温度

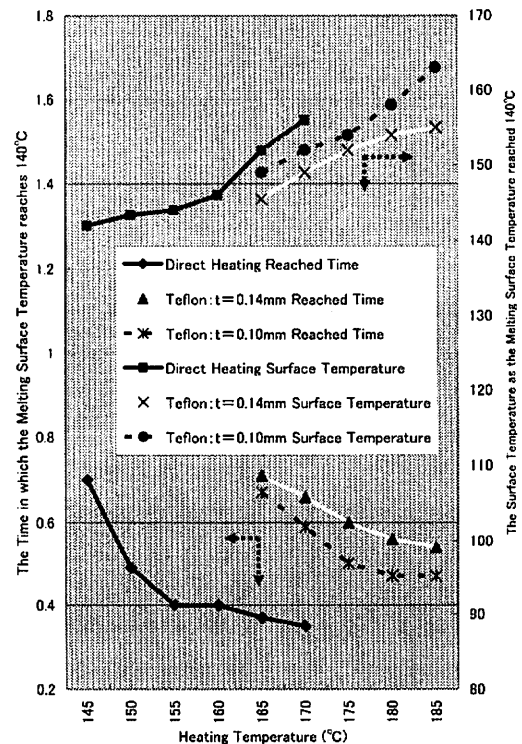


Fig. 13(b) The utility comparison of the response of melting surface of the mounting of the Teflon coat by the existence

分布の測定を行った。

①圧着時のX軸方向（長辺）の表面温度

②中央部の圧着時のY軸方向（短辺）の表面温度

長さ 100 mm、幅 30 mm、圧着部 15 mm のヒートジョーを両面同一温度加熱（調節感度 0.1℃）の圧着時の表面温度の測定結果を中央部（150℃）との温度差を図14に示した。

本実験の計測対象のヒートジョーにはX軸方向にヒートパイプが装着されているので温度ムラは非常に改善されているがヒータのリード線引き出し側の発熱不足が観察された。リード線引き出し側は 20～30 mm のゾーンの使用は避けた方が良くことが分かった。

一方、Y方向の温度差は加熱体の構造から決まる放熱が起こり、周辺に行くに従って低くなるのは自然現象として捉える必要がある。

本試験対象では中央部との温度差は 0.2℃ 以下の良好な結果を示した。

Y軸方向はヒートシール強さを保証する方向になり、温度差の大小の把握は加熱条件の許容範囲を決めるのに重要である。

この知見はヒートシール巾の選択と加熱体の形状の設計に大きな参考になる。

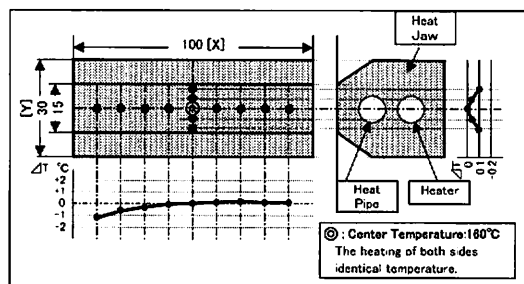


Fig. 14 The distribution measurement of surface temperature of heat jaw

4.6 インパルスシールの溶着面温度挙動

インパルスシーラーでの実際のヒートシールの溶着面温度と表層温度の応答測定の結果を図15に示した。通常のインパルスシーラーでは加熱電流は一定にして通電時間をタイマーで調節して加熱量を制御している。

通電 OFF の時点がヒートジョー方式の開放のタイミングに相当する。タイマーの設定時間が長くなると表面温度／溶着面温度共、上昇線は 1 次応答曲線になることが分かる。

インパルスシール方式は発熱体の熱容量が小さいのが特徴であるので、被加熱材に必要な熱エネルギーはチャージ温度によって供給を制御する必要がある。

この実験の場合、115℃ の溶着面温度を得ようとする 0.6 秒の通電条件が適當であることが分かるが、この時のヒータ線との接触表面温度は 0.1 mm のテフロンを介しても 165℃ に達している。表層包装材料に対する熱ダメージの大きいことが分かる。

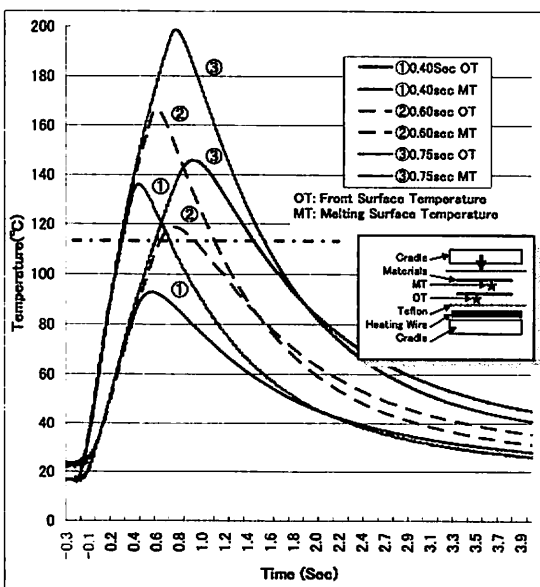


Fig. 15 Response example of the heating by the impulse sealer

この結果からヒータ線の上昇温度は電流値によって決まるので、発熱温度は表層材の耐熱温度以下になるように電流を調節する必要があることが分かる。

表層包装材料の熱ダメージを避けるためには、電流値を小さくする要求があるが、この結果生産性は大幅に低下する。

インパルスシールを利用する場合には生産性と熱ダメージの兼ね合いの留意が必要であることが分かった。

インパルスシールの場合は単一フィルムに適用する特徴があるから、少なくとも表層が溶融温度より低下（固化）するまで、圧着を保持する必要がある。実験例の②では冷却応答から溶着面温度が溶融温度以下になるのに1.5～2.0秒の待機が必要であることが分かる。インパルスシールにおいては、通電時間、通電電流と開放タイミングが制御ファクターになることが分かった。

4.7 インダクションシールの溶着面温度挙動

インダクションシールの加熱時間は被加熱体が交番磁界内に置かれた時間になる。

その方法は被ヒートシール物を停止して磁界を一定時間照射するか、連続に照射されている磁界ゾーンの通過時間を制御するかによって実施できる。図16に被ヒートシール体を停止して照射時間を調節する方法のインダクションシールの溶着面温度の応答を示した。計測方法は微細センサーをボトルのヒートシール面に予めセットし、キャップを装着して締めた。

温度計測機の入力端子の直前に励磁周波数の誘導信号を除外するフィルター回路を設置して、熱電対の微弱な直流信号が乱されない

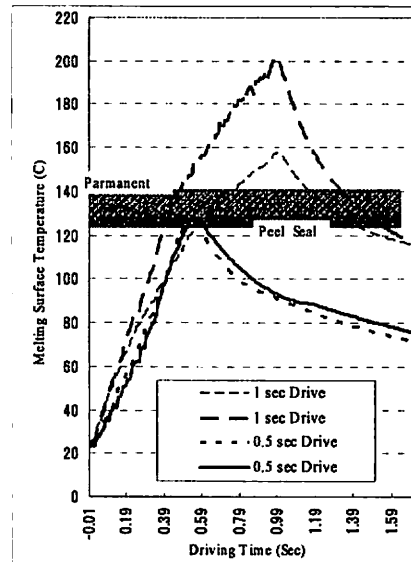


Fig. 16 Melting Surface Temperature response of Induction Seal by "MTMS"

ように配慮した。そして上部から磁気を照射した。予め適正加熱条件は熱特性測定法を使ってシール材とボトル材の溶融特性を掌握しておいたデータを元にヒートシール条件を評価した。インダクションシールのオーバーヒートは金属箔の溶解となりシール材に穴が開くので重大な欠陥を発生させる。

インダクションシールは誘導電流の発生経路と所望のヒートシール線を一致させ、かつ適正な発熱を実行する必要がある、検証の重要性が分かった。

本実験はミシガン州立大学包装学科との協業で行った。

4.8 片面加熱の溶着面温度の挙動

スタンドパウチやガゼット袋のヒートシールでは、曲線状のヒートシール線の要求がある。又2重と4重の同時加熱がある場合の均一な圧着のために受け台側にクッション性を持たせる論理があって片側加熱の方法が適用

されている。片側加熱の場合は被加熱材の熱容量(厚さ)によって連続運転時の溶着面温度挙動が大きく変化する。

図17は薄手の包装材料の場合の連続運転の立ち上げ時の受け台の表面温度の挙動を《“MTMS”キット》でシミュレーションした結果を示した。操作のインターバルは ≈ 1 回/Sec.である。この場合、加熱熱流は包装材料を通過して、非加熱側の受け台を加熱するので、受け台の表面温度は放熱とバランスするまで徐々に上昇する。運転開始後数ショットの製品では溶着不良が発生する。

数ショット後の製品を良品化しようとして加熱温度を高温側に設定変更すると通常運転時にはオーバーヒートになってしまうことを示唆している。

図18は厚手の包装材料の場合の《“MTMS”キット》によるシミュレーション結果である。

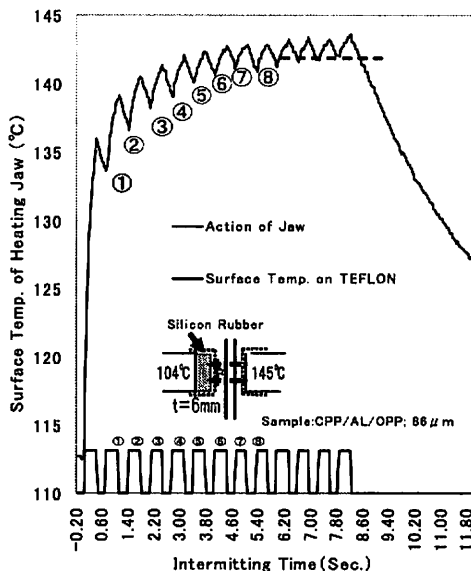


Fig. 17 The example of a drift of the surface temperature in a different temperature setup [The case of the thin packaging material]

低温側に $t=5$ mm のクッション用のシリコンゴムを装着して、104°C に加熱している。温度測定は加熱側の表面温度とシリコンゴムの表面温度を測定した。

このケースの場合は高温加熱の熱流はほとんどが被加熱材で消費され、受け台のシリコンゴムの表面温度はシリコンゴムの伝熱性能で決まる補給熱量と被加熱材に奪われる熱量とバランスした状態で一定になる。

この場合は数ショット後の製品ではヒートシールが良好でも通常運転状態になると加熱不良が発生するシステムになっていることが分かる。片面加熱の最適条件は何ショット打った点が定常状態であるかの検証の必要性を

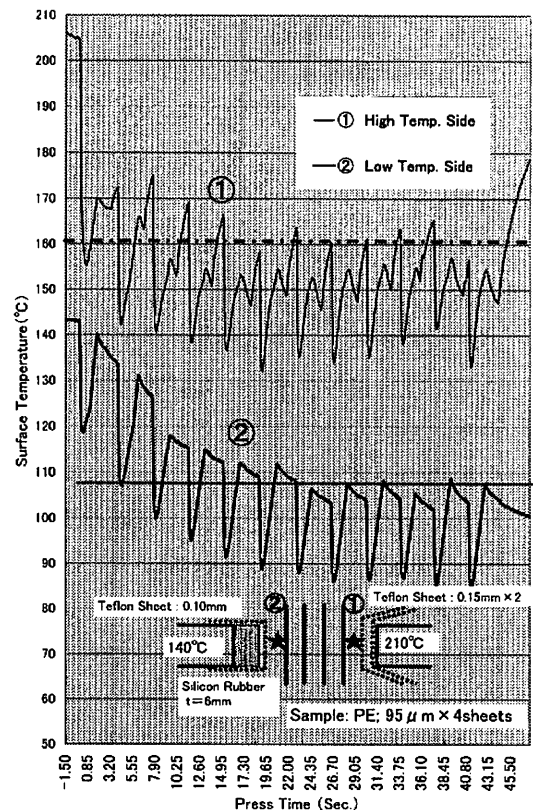


Fig. 18 The example of a drift of the surface temperature in a different temperature setup [The case of the thick packaging material]

示している。

5. 考察

- (1) 加熱温度／圧着時間は包装材料の①最適加熱温度、②熱変性限界温度、③表層包装材料の耐熱、の基本特性から決まる条件を選択する方法を数量的に立証できた。
- (2) 圧着圧とヒートシール強さの関係が論じられるが、それは圧着が不完全な状態から完全な状態に移る段階の現象であって、圧着圧がヒートシール強さを支配する本質的な指標でないことが分かった。

強すぎる圧着は接着層に流動を起こさせ“ポリ玉”の原因になり劣化になる。

実際には加熱温度ムラや加圧ムラによる不均一な圧着条件によるヒートシール強さムラを Tear Seal 側に持っていく効果と推察される。

- (3) 溶着面に揮発成分が存在する場合には圧着圧によって溶着面温度の挙動が変化することが分かった。揮発成分を含む場合の加熱条件は (溶着温度) $\leq$ (加熱温度) $<$ (揮発温度) の条件の加熱を配慮したい⁷⁾。
- (4) 加熱体の表面にテフロンシートを装着することは加熱流制限を必要と特殊な場合を除いて有用な知見は得られなかった。
通常のヒートシール操作ではテフロンの装着を排して、加熱温度を低温化することによってより高速で信頼性の高いヒートシールが可能でありテフロンの装着は不要であることが分かった。
- (5) ヒートシールの操作源の加熱体の表面温度分布が存在することは必然であるので、分布を小さくする装置とヒートシール設計

Table 1 An achievement assignment of the heat-sealing Function of three fields

Classification	Individual element
(1) Packing material	1) Melting Temperature 2) Heat conduction speed 3) Heat denaturation (Over Heating) 4) (As a result) Heat-sealing strength [1]
(2) Packaging machinery	1) Operation speed (The heat conduction speed of packaging material was balanced) 2) Heating Temperature (Below the heat denaturation temperature of packaging material) 3) Uniform forcing (A uniform heating sake) 4) (As a result) Heat-sealing strength [2]
(3) Operation conditions	1) Production plan (It carried out on the basis of the heat characteristic of packaging material) 2) Operation speed (It united with the guarantee speed of a packing machine) 3) A setup of a management numerical value —It selection—sets up in the characteristic of packing material, and the ability range of a packing machine 4) Pinch control of the filling thing to a seal surface • Step 1: Positive achievement of a basic element checks first • Step 2: The kind of cause of generating with a faulty seal, Grasp of quantity • Step 3: Examination of a generation source extermination measure (Apply of "Liquid Dropping Control", "Powder Dancing Control")

が必要である。

- (6) インパルス、インダクションシールのようにヒートシールの達成の阻害要因が複合的に存在するヒートシール方法では機器毎に操作量と溶着面温度の関係を直接測定して複合起因を総括した条件検証が有効である。
- (7) 片面加熱の受け台側は包装材料の熱容量によって挙動が異なることが分かった。
溶着面温度と受け台の温度挙動の検証が重要であることが分かった。
- (8) ヒートシールの確実な完成には①包装材料の加熱特性の定量化、②包装材料の性能を考慮した機械の速度と均一加熱装置の供給、③ユーザーの包装材料の特性を考慮した装置の運転条件の設定と最終製品の仕上がり品質規格設定の遂行、この三者の機能分担の実行が必要である。三者の機能分担を表1に示した。

6. 結論

慣習と経験的に行われてきた従来のヒート

シールの管理事項を溶着面温度測定法；
“MTMS”を適用し種々の解析を試みた結果、
各項目に定量的な検証ができ、ヒートシール
の信頼性の向上方法を見出した。

7. 謝辞

インダクションシールの事例特性測定はミ
シガン州立大学の包装学科の協力で採取した。
協力に感謝する。

<引用文献>

- 1) JIS : Z 0238 (1998)
- 2) ASTM Designation : F88-00 (2000)
- 3) 菱沼一夫、第12回日本包装学会年次大会
要旨集、p.84～、(2003)
- 4) 菱沼一夫、第13回日本包装学会年次大会
要旨集、p.92～、(2004)
- 5) 菱沼一夫、「包装技術」、41 (2) 41 (2003)
- 6) 大江修造、“物性推算法”、データブック
出版社、P.61 (2002)
- 7) 菱沼一夫、特許公開2003-1708 (2003)
(原稿受付 2004 年 12 月 3 日)
(審査受理 2005 年 1 月 13 日)